

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Objek Studi

Gedung Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dibangun pada tahun 2015 dan merupakan gedung perkuliahan untuk Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya menggantikan Gedung Timur Teknik Industri. Terdiri dari tujuh lantai dan lantai pertama terbagi menjadi lobi Jurusan Teknik Industri dan Laboratorium Proses Manufaktur untuk Jurusan Teknik Mesin. Gedung ini mengakomodasi kegiatan perkuliahan Jurusan Teknik Industri mulai dari perkuliahan, laboratorium, seminar, maupun urusan administrasi. Jam operasional gedung ini dimulai pukul 06.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB.



Gambar 2. 1. Tampak depan Gedung Teknik Industri.



Gambar 2. 2. Tampak samping Gedung Teknik Industri.

Gedung Barat Teknik Industri yang terletak di Jalan Fakultas Teknik dan Jalan Fakultas Hukum di Universitas Brawijaya ini memiliki massa bangunan memanjang ke arah Utara-Selatan dengan sisi terpanjang menghadap Barat-Timur.

Bentuk dasar massa bangunan adalah persegi panjang dengan fasad didominasi dengan garis horizontal pada bagian Timur dan Barat, dengan adisi berupa massa diagonal transparan. Pada sisi Utara dan Selatan, fasad didominasi dengan garis lengkung. Terdiri dari material tembok batu bata yang diaci serta dicat, dengan aksen batu alam di bagian bawahnya. Kusen jendela berbahan aluminium dengan material kaca *tinted glass* yang gelap.



Gambar 2. 3. Lobi pada lantai 3 Gedung Teknik Industri

2.2. Audit Energi

2.2.1 Pengertian Audit Energi

Audit Energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi sebagai bentuk konservasi energi (SNI, 2011). Ada tiga jenis audit energi berdasarkan SNI 6196:2011 tentang Prosedur Audit Energi pada Bangunan Gedung, yakni audit energi singkat (*walk through audit*), audit energi awal (*preliminary audit*), dan audit energi rinci (*detail audit*).

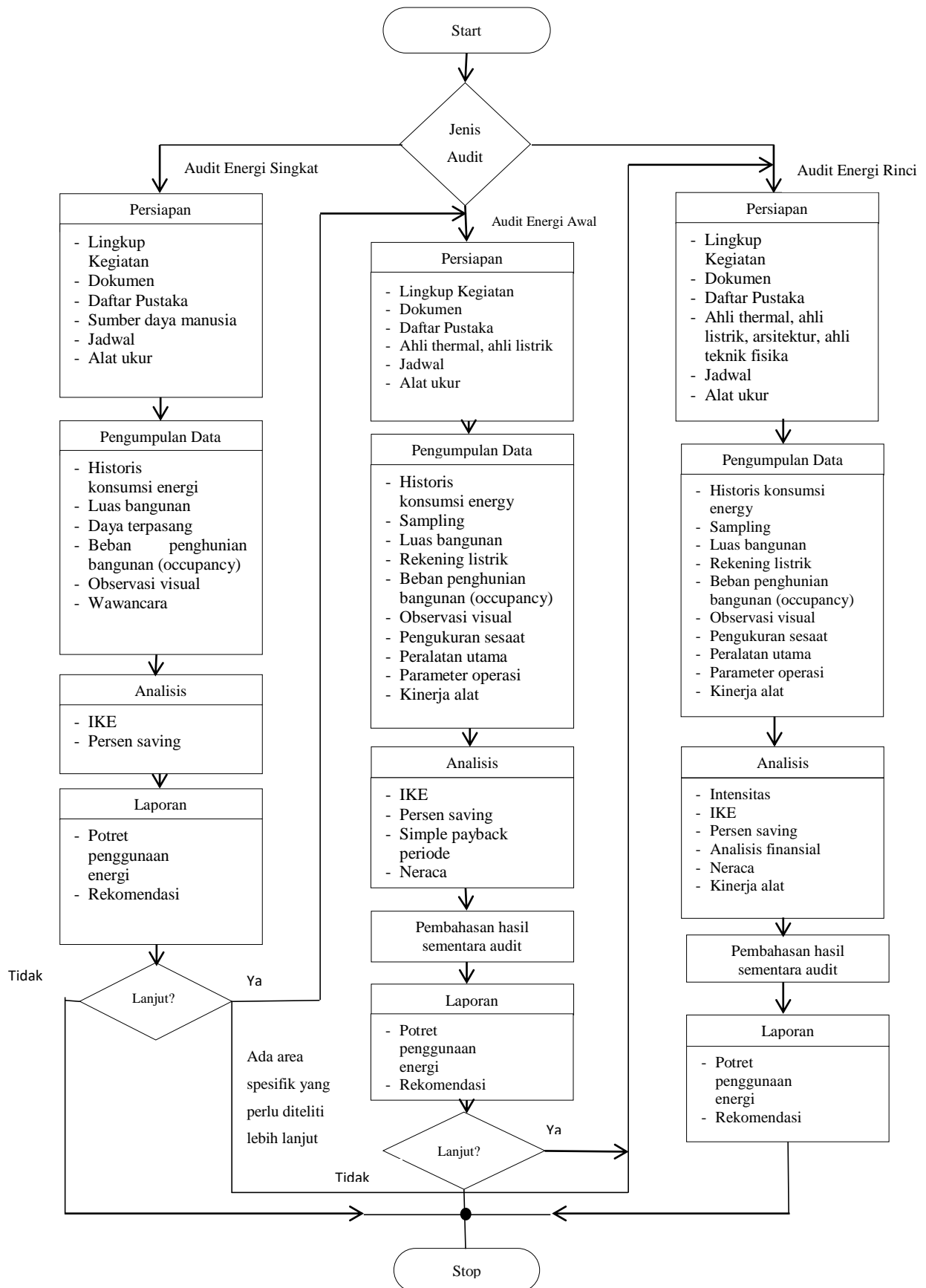
Audit energi singkat merupakan audit energi yang terdiri dari pengumpulan data historis, data dokumentasi dan observasi, perhitungan intensitas konsumsi energi (IKE) serta kecenderungannya, potensi penghematan energi, dan penyusunan laporan audit. Audit energi awal adalah kegiatan audit energi yang terdiri dari pengumpulan data historis, data dokumentasi dan observasi, dan pengukuran sesaat,

perhitungan IKE serta kecenderungannya, potensi penghematan energi, dan penyusunan laporan audit. Perbedaan dengan audit energi singkat adalah adanya pengukuran sesaat. Sedangkan audit energi rinci merupakan audit energi yang dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan, mencakup pengumpulan data historis, data dokumentasi, observasi, dan pengukuran lengkap, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi, analisis finansial dan teknis, serta penyusunan laporan.

Baik pada audit energi singkat, audit energi awal, dan audit energi rinci, ada beberapa faktor penting yakni nilai Intensitas konsumsi energi (IKE) dan peluang konservasi energi (PKE). IKE adalah perbandingan antara konsumsi energi dengan stauan luas bangunan gedung dalam periode tertentu (kWh/m^2 per bulan atau kWh/m^2 per tahun). Sedangkan PKE adalah peluang yang mungkin bisa diperoleh dalam rangka penghematan energi dengan cara perbaikan dalam pengoperasian dan pemeliharaan, atau melakukan tindakan konservasi energi pada fasilitas energi. Pada skripsi ini, PKE juga menjadi pertimbangan untuk membuat rekomendasi arsitektural untuk penghematan energi, dimana rekomendasi tersebut akan diutamakan pada sektor PKE yang paling tinggi dan memungkinkan diselesaikan secara arsitektural.

2.2.2. Prosedur Audit Energi

Prosedur audit energi berdasarkan SNI 6196:2011 adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 4. Prosedur audit energi.
Sumber: SNI 6196:2011

2.2.3 Audit Energi Singkat

Audit energi singkat adalah prosedur audit energi yang tidak terlalu mendetil dan rinci. Dilakukan dengan analisis yang sederhana, biasanya diperuntukan untuk audit energi pada sektor perawatan dan penghematan yang tidak terlalu memerlukan investasi yang besar

2.2.4 Audit Energi Awal

Audit energi awal hanya dilakukan pada bagian-bagian yang penting saja. Analisis didapat dengan perhitungan yang cukup jelas. Yang termasuk dalam audit jenis ini adalah indentifikasi peralatan, analisis kondisi eksisting, menghitung konsumsi energi, menghitung pemborosan energi dan juga beberapa rekomendasi atau usulan.

2.2.5 Audit Energi Rinci

Audit energi rinci merupakan prosedur audit energi yang paling detil yang melingkupi semua aspek yang mengkonsumsi energi serta mengidentifikasi semua kemungkinan penghematan yang bisa dilakukan. Dilakukan juga penghitungan pemborosan energi, potensi penghematan energi, dan usulan-usulan yang bisa dilakukan untuk dapat menghemat konsumsi energi secara detail.

2.3 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas Konsumsi Energi (IKE) Listrik merupakan istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya pemakaian energi dalam bangunan gedung dan telah diterapkan di berbagai negara (ASEAN, APEC), dinyatakan dalam satuan kWh/m² per bulan atau per tahun. Atau dapat juga ditulis sebagai berikut:

$$IKE = \frac{\text{kWh total (kWh x tahun)}}{\text{Luas bangunan}} \dots\dots\dots(2-1)$$

Setiap bangunan memiliki standar target IKE yang telah ditentukan. Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia pada tahun 2004 telah mengeluarkan standar IKE untuk bangunan-bangunan di Indonesia seperti yang terlihat pada *Tabel 2.1*.

Tabel 2. 1. Standar IKE Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia

Kriteria	Ruangan ber-AC	Ruangan non-AC
	(kWh/m ² per bulan)	(kWh/m ² per bulan)
Sangat Efisien	4,17 – 7,92	0,84 – 1,67
Efisien	7,92 – 12,08	1,67 – 2,5
Cukup Efisien	12,08 – 14,58	-
Agak Boros	14,58 – 19,17	-
Boros	19,17 – 23,75	2,5 – 3,34
Sangat Boros	23,75 – 37,75	3,34 – 4,17

Sumber: Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia, 2004

Begitupun Pemerintah Provinsi DKI Jakarta yang juga mengeluarkan standar IKE bangunan melalui Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta No. 38 Tahun 2012 Tentang Bangunan Gedung Hijau yang dapat dilihat sebagai berikut

Tabel 2. 2. Standar IKE Pergub DKI Jakarta No.38 Tahun 2012

Tipe bangunan	Rentang IKE (KWH/m ² /tahun)			Waktu operasional acuan (benchmark operational hours)
	Batas bawah	Acuan	Batas atas	
Perkantoran	210	250	285	10jam/hari, 5 hari/minggu, 52 minggu/th = 2600 jam/th
Hotel	290	350	400	24 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/th = 8736 jam/th
Apartemen	300	350	400	24 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/th = 8736 jam/th
Sekolah	195	235	265	8 jam/hari, 5 hari/minggu, 52 minggu/th = 2080 jam/th
Rumah sakit	320	400	450	24 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/th = 8736 jam/th
Pertokoan	350	450	500	12 jam/hari, 7 hari/minggu, 52 minggu/th = 4368 jam/th

Sumber: Pergub DKI Jakarta No.38, 2012

ASEAN-USAID pada tahun 1992 juga mengeluarkan hasil penelitian tentang nilai IKE untuk bangunan di Indonesia dengan rincian seperti pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3. IKE Listrik Hasil Penelitian ASEAN-USAID Tahun 1992

No.	Jenis Gedung	IKE (kWh/m ² per tahun)
1	Perkantoran (Komersial)	240
2	Pusat Perbelanjaan	330
3	Hotel dan Apartemen	300
4	Rumah Sakit	380

Sumber: ASEAN-USAID, 1992

Pemerintah Amerika Serikat melalui *U.S Energy Information Administration* (EIA) telah melakukan program *Commercial Buildings Energy Consumption Survey* (CBECS) pada tahun 2012 yang meneliti ribuan bangunan di Amerika untuk menemukan IKE acuan. IKE acuan tersebut pada bangunan kriteria bangunan finansial, pendidikan, dan hiburan, dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 4. IKE hasil penelitian CBECS pada tahun 2012

Broad Category	Primary Function	Further Breakdown (where needed)	Source EUI (kBtu/ft ²)	Site EUI (kBtu/ft ²)	Reference Data Source – Peer Group Comparison
Banking/ Financial Services	Bank Branch		252.8	87.0	CBECS – Bank/Financial
	Financial Office		148.1	67.3	CBECS – Office & Bank/Financial
Education	Adult Education		141.4	59.6	CBECS - Education
	College University		262.6	130.7	CBECS – College/University
	K-12 School		141.4	58.2	CBECS – Elementary/Middle & High School
	Pre-school/Daycare		145.7	70.9	CBECS – Preschool
	Vocational School		141.4	59.6	CBECS - Education
	Other - Education				
Entertainment/ Public Assembly	Convention Center		69.8	45.3	CBECS – Social/Meeting
	Movie Theater		85.1	45.3	CBECS – Public Assembly
	Museum				
	Performing Arts				
	Recreation	Bowling Alley	96.8	41.2	CBECS - Recreation
		Fitness Center/Health Club/Gym			
		Ice/Curling Rink			
		Roller Rink			
		Swimming Pool			
		Other - Recreation			
	Social/Meeting Hall		69.8	45.3	CBECS – Social/Meeting

Sumber: CBECS, 2002

Sementara The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) juga mengeluarkan standar IKE dalam Standard 100-2015 yang mengidentifikasi puluhan kategori bangunan serta standar IKE nya berdasarkan iklim. Standar IKE tersebut pada kategori bangunan komersil dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2. 5. Standar IKE ASHRAE Standard 100-2015

No	Commercial Building Type	EUIs by Building Type by Climate Zone (kBtu/sf-yr)															
		ASHRAE Climate Zone															
		1A	2A	2B	3A	3B	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	6A	6B	7	8
1	Admin/professional office	39	40	39	42	33	39	33	46	40	40	48	42	54	47	58	81
2	Bank/other financial	55	57	56	59	46	55	47	65	56	57	68	59	76	67	82	115
3	Government office	49	50	49	52	41	48	42	57	49	50	60	52	67	59	72	101
25	College University	62	61	60	62	45	58	50	72	60	65	78	65	90	78	99	147

Sumber: ASHRAE, 2015

2.4. Konsep Bangunan Hemat Energi

Penghematan energi atau konservasi energi pada bangunan merupakan bagian penting dalam penerapan bangunan yang ramah lingkungan (*greenbuilding*) maupun dalam pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable*). Konsep bangunan ramah lingkungan tidak pernah lepas dari aspek hemat energinya, seperti yang terdapat pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 Tahun 2010 tentang Kriteria dan Sertifikasi Bangunan Ramah Lingkungan, terdapat setidaknya dua kriteria konservasi energi di dalamnya, yakni kriteria butir b.) terdapat fasilitas, sarana, dan prasarana untuk konservasi sumber daya air dalam bangunan gedung dan butir c.) terdapat fasilitas, sarana, dan prasarana konservasi dan diversifikasi energi. Kriteria fasilitas, sarana, dan prasarana untuk konservasi sumber daya air dapat dicapai dengan menyediakan di antaranya sistem pemanfaatan air yang bias dikuantifikasi, menggunakan sumber daya air yang memperhatikan konservasi sumber daya air, serta memiliki sistem pemanfaatan air hujan. Sedangkan kriteria fasilitas, sarana, dan prasarana konservasi dan diversifikasi energy dapat dicapai dengan menggunakan sumber energi alternatif yang rendah emisi gas rumah kaca, serta menggunakan sistem pencahayaan dan pengkondisian udara buatan yang hemat energi.

Selain itu, kriteria Konservasi dan Efisiensi Energi/EEC memiliki bobot yang paling besar dalam kriteria *greenbuilding* yang dikeluarkan *Green Building Council Indonesia* (GBCI) yang dikenal dengan nama *GreenShip*. Dalam *GreenShip* NB (*New Building*) v.1.2, kriteria ini memiliki bobot sebesar 25.7% dari keseluruhan kriteria dengan 9 sub kriteria. Jika ditambah dengan poin-poin kriteria Konservasi Air/WAC yang sebesar 20.8%, maka total bobot aspek energi pada *GreenShip* NB v.1.2 sebesar 46.5% (Pursari, 2016). Poin-poin yang terdapat pada kriteria ini di antaranya mencakup tentang selubung bangunan, pencahayaan alami, sumber energi terbarukan, ventilasi, pengukuran efisiensi energi, sistem pengkondisian udara, sistem transportasi vertikal, dampak perubahan iklim, penghitungan penggunaan air, efisiensi air, dan pemanfaatan air hujan.

Dari contoh kriteria hemat energi tersebut, konsep hemat energi pada bangunan bisa dibagi menjadi dua kategori besar, yakni konsep desain pasif dan konsep desain aktif.

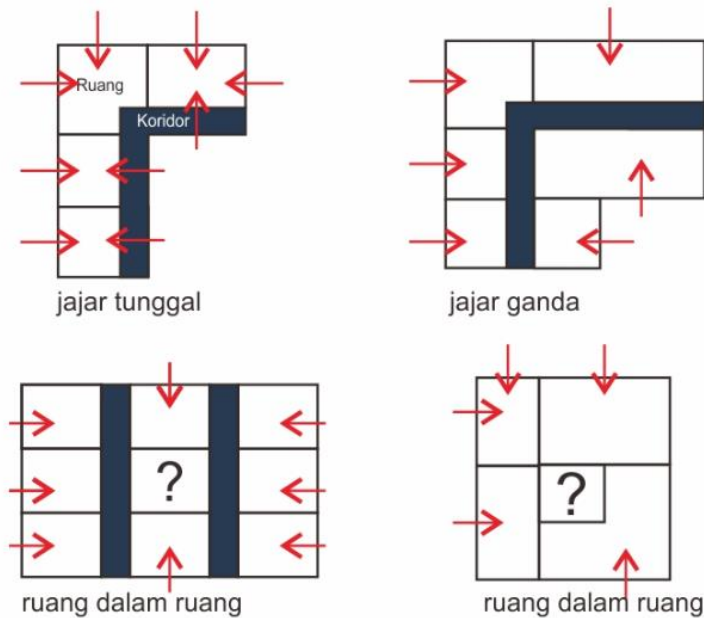
2.4.1. Konsep Hemat Energi melalui Desain Pasif

Desain pasif menekankan pada aspek-aspek yang terdapat sejak tahap perancangan dan lebih bersifat arsitektural (tidak menggunakan mekanikal). Yang termasuk dalam klasifikasi desain pasif antara lain tata letak bangunan, selubung bangunan, bentuk geometri bangunan, kerapatan dan infiltrasi udara (Chen, 2015). Para perancang hendaknya memanfaatkan dengan maksimal desain pasif untuk membangun bangunan yang hemat energi, karena memaksimalkan aspek-aspek desain pasif tersebut, telah terbukti dapat meningkatkan performa bangunan (Chen, 2016).

A. Tata letak bangunan (*layout*)

Sistem penghawaan dan pencahayaan alami merupakan elemen yang umum pada desain pasif. Namun penghalang di sekitar tapak bisa mempengaruhinya. Karena cahaya alami maupun udara bisa terhalangi. Maka dari itu tata letak bangunan dan perencanaan massanya menjadi penting untuk memaksimalkan konsep-konsep desain pasif seperti pencahayaan alami dan penghawaan alami. Keadaan tapak dan elemen-elemen yang ada di dalamnya, termasuk keberadaan bangunan sekitar harus diperhitungkan dalam merancang tata letak bangunan yang efektif.

Teknik terbaik agar banyak ruang di dalam bangunan yang terhubung dengan ruang luar secara maksimal adalah dengan penataan ruang-ruang berjajar tunggal (*linear*) (Mediastika, 2013). Melalui penataan ini setiap ruang setidaknya punya dua sisi yang terhubung dengan ruang luar sehingga bisa memaksimalkan pencahayaan dan penghawaan alami.



Gambar 2. 5. Jenis penataan ruang dan kemungkinan aliran udara dan masuknya cahaya alami (notasi anak panah). Ruang-ruang yang ditandai dengan tanda tanya (?) tidak memiliki akses pada cahaya dan ventilasi alami melalui dinding.

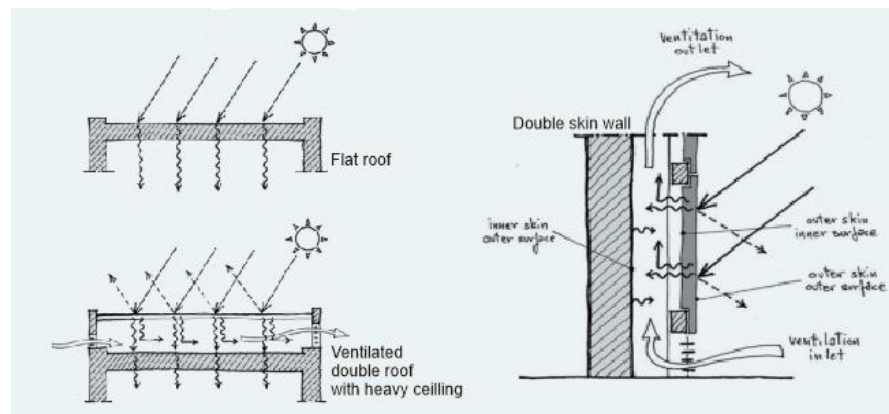
Sumber: Mediastika, 2013

Bila penataan jalur jajar tunggal tidak memungkinkan karena kondisi tapak yang terbatas, maka penataan jajar ganda juga dapat menjadi pilihan yang baik. Namun dianjurkan untuk menghindari penataan berlapis-lapis yang menyebabkan terbentuknya ruang di dalam ruang sehingga tidak terhubung sama sekali dengan ruang luar (Mediastika, 2013).

Yang tidak kalah penting adalah orientasi bangunan yang harus disesuaikan dengan bentuk massa bangunan. Pada negara dengan iklim tropis seperti di Indonesia, sebisa mungkin hindari mengorientasikan sisi terluas bangunan ke arah Timur atau Barat karena akan terpapar sinar matahari langsung. Sisi yang terpapar sinar matahari langsung, jika merupakan sisi yang luas, maka akan berpengaruh kepada suhu dalam ruangan di bangunan tersebut, yang pada akhirnya dapat menambah beban kerja AC. Jika sisi terluas tidak bisa dihindari untuk menghadap Timur dan Barat, maka harus diberi penyelesaian lain misalnya dengan menambah *double-skin facade* untuk menghalau sinar matahari langsung sehingga tidak langsung mengenai selubung bangunan.

B. Selubung bangunan dan material

Selubung bangunan terdiri dari dinding, atap, dan bukaan dimana panas akan sangat mempengaruhi keadaan ruang di dalamnya. Selubung yang terpapar panas bisa menaikkan suhu udara pada ruang dalam yang akhirnya dapat membuat beban kerja AC semakin besar dan mengkonsumsi energi lebih banyak. Dalam studi Gong dkk. (2012) terbukti bahwa ketebalan insulasi dinding eksternal merupakan salah satu aspek yang paling penting dalam menekan beban panas dengan mengurangnya sebesar 70%.



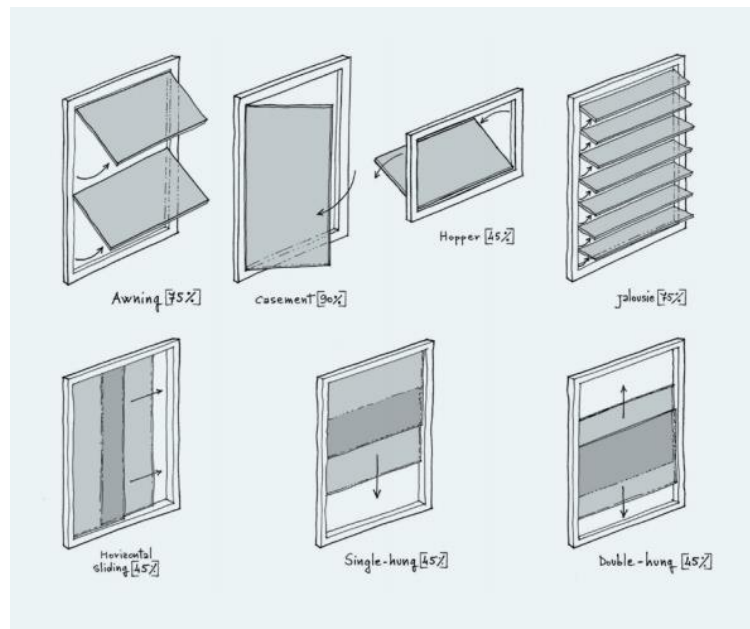
Gambar 2. 6. Selubung bangunan
Sumber: UN-Habitat, 2014

Selain ketebalan dinding, material bangunan juga dapat mempengaruhi konsumsi energi. Pembuatan, transportasi, dan konstruksi material bangunan tentunya memiliki andil yang sangat besar dalam pemanfaatan energinya. Penggunaan energi dari pembuatan, transportasi, dan konstruksi material bangunan tersebut sering disebut dengan *embodied energy*. Sementara untuk pemanfaatan energi pada operasional bangunan, material bangunan juga memiliki pengaruh. Setiap material memiliki sifat yang berbeda-beda, termasuk dalam menanggapi iklim. Sifat material tersebut dapat berpengaruh pada performa bangunan.

Di antara sifat-sifat material tersebut tingkat penyerapan/reflektivitas sangat berpengaruh pada masuknya panas. Jika ingin mengurangi suhu dalam ruang, maka disarankan memilih material pada selubung dengan sifat reflektif, seperti material-material dengan permukaan halus dan berwarna putih (Szokolay, 2004).

C. Geometri bangunan

Konfigurasi jendela yang berbeda pada bangunan akan mempengaruhi dalam efisiensi ventilasi alami. Studi yang dilakukan C.F Gao dan W.L Lee (2011) yang menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menemukan bahwa konfigurasi paling efektif untuk ventilasi udara alami adalah dengan meletakkan bukaan secara berlawanan atau secara tegak lurus.

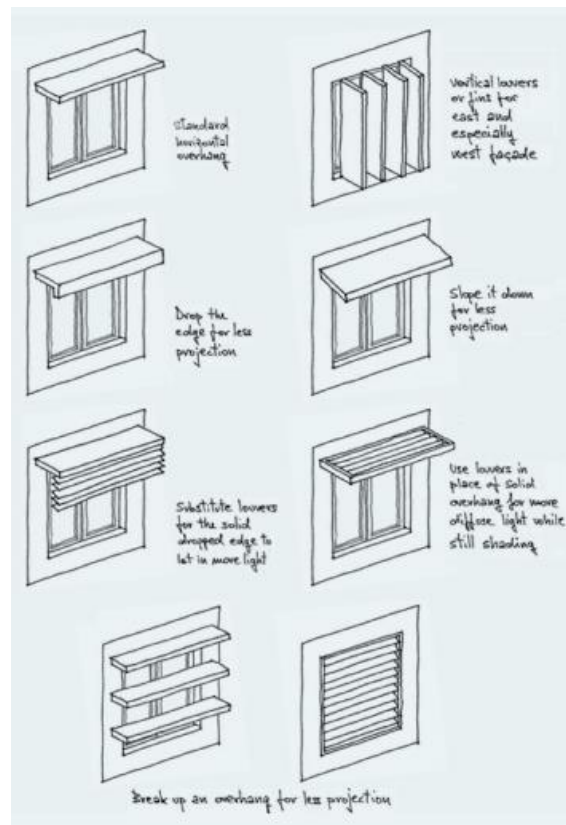


Gambar 2. 7. Berbagai jenis bukaan jendela.

Sumber: UN-Habitat, 2014

Setiap jenis jendela memiliki luas bukaan efektif yang berbeda-beda yang berpengaruh pada aliran angin dan pencahayaan alami yang masuk. Jendela jenis *awning* memiliki bukaan efektif sebesar 75% dari luas jendela. Bukaan jenis *casement* 90%, bukaan jenis *hopper* 45%, bukaan jenis *jalousie* 75%, bukaan jenis *horizontal sliding* 75%, bukaan jenis *single hung* 45%, dan bukaan jenis *double-hung* 45%.

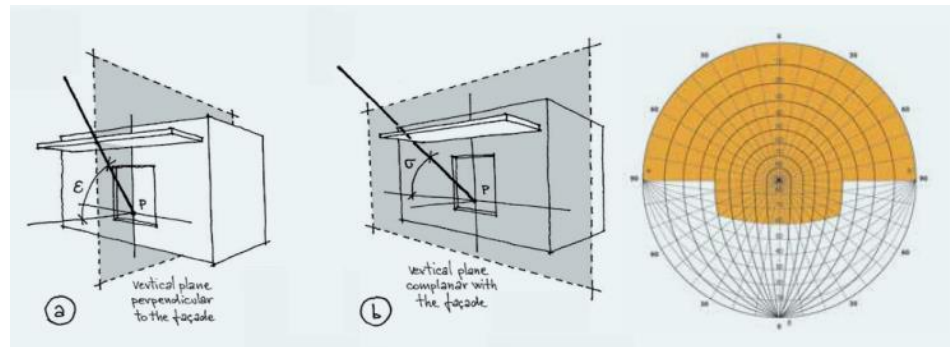
Elemen geometri bangunan lainnya adalah pembayang. Pembayang memiliki fungsi untuk mengurangi panas matahari yang masuk ke dalam bukaan sehingga suhu dalam ruangan menjadi lebih rendah. Secara garis besar, pembayang terbagi atas pembayang eksterior dan interior. Pembayang eksterior biasanya terdiri dari *overhangs* horizontal atau *fin* vertikal, maupun gabungan keduanya (*eggcrate*).



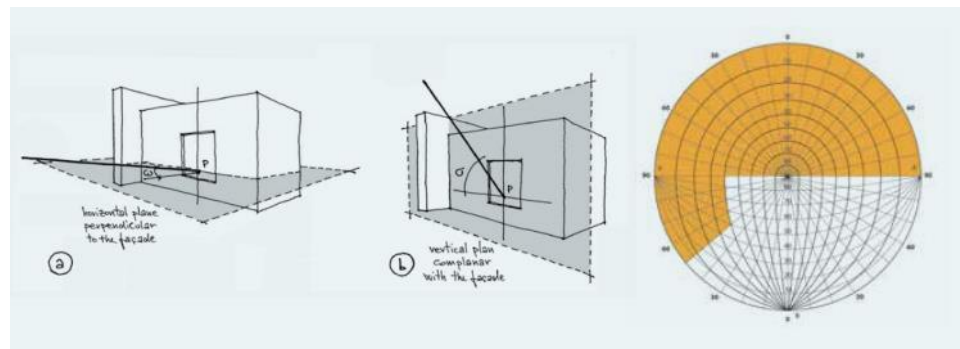
Gambar 2. 8. Berbagai jenis pembayang eksterior
Sumber: UN-Habitat, 2014

Sedangkan pembayang interior cenderung lebih bervariasi tergantung konsep ruang dalam yang diusung. Selain berupa overhang dan sirip seperti layaknya pembayang eksterior, pembayang interior juga termasuk tirai atau *blinds*.

Karena berfungsi untuk mengalau panas matahari masuk ke dalam ruang, maka dalam merancang pembayang harus memperhatikan sudut jatuh matahari baik sudut bayangan vertikal (SBV) maupun sudut bayangan horizontal (SBH) agar dimensi pembayang optimal membayangi bukaan.



Gambar 2. 9. Rancangan pembayang eksterior yang merespon SBV matahari
Sumber: UN-Habitat, 2014

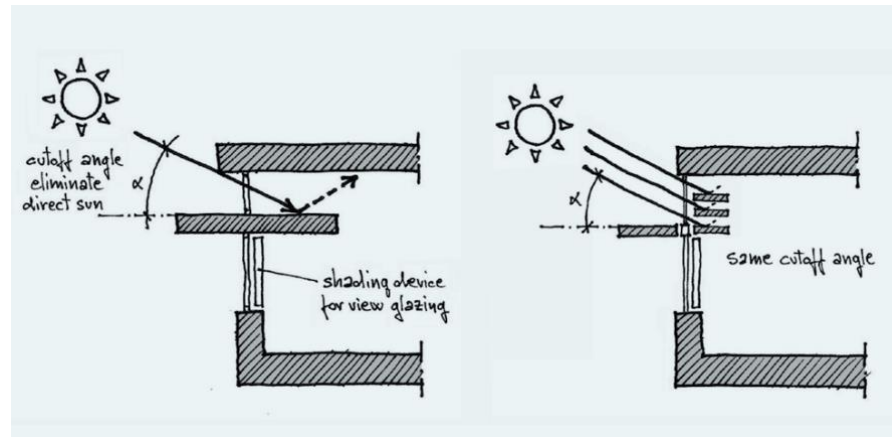


Gambar 2. 10. Rancangan pembayang eksterior yang merespon SBH matahari
Sumber: UN-Habitat, 2014

Jika dirancang dan diletakkan secara tepat, pembayang dapat menjadi elemen yang sangat penting dalam desain pasif karena selain bisa menjadi pembayang yang bisa menurunkan beban pendinginan di ruang dalam, juga bisa sebagai pengendalian silau yang memberikan kenyamanan. (Chen, 2015).

Elemen lain yang dapat menunjang penghematan energi pada bangunan melalui desain pasif adalah elemen-elemen untuk mendukung konsep pencahayaan alami. Ada beberapa elemen desain pasif yang dapat memaksimalkan pencahayaan alami di dalam ruang, di antaranya *light shelf*, *light pipe*, dan *light shaft*.

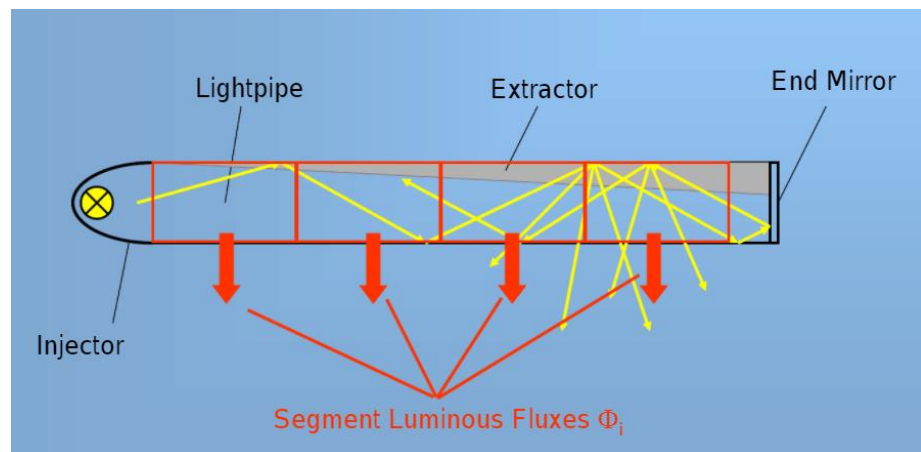
Light shelf adalah elemen bangunan yang sudah lama digunakan untuk memaksimalkan penetrasi cahaya ke bagian dalam ruang. Selain untuk memaksimalkan penetrasi cahaya, *light shelf* juga dapat berfungsi sebagai pembayang dan mengurangi silau.



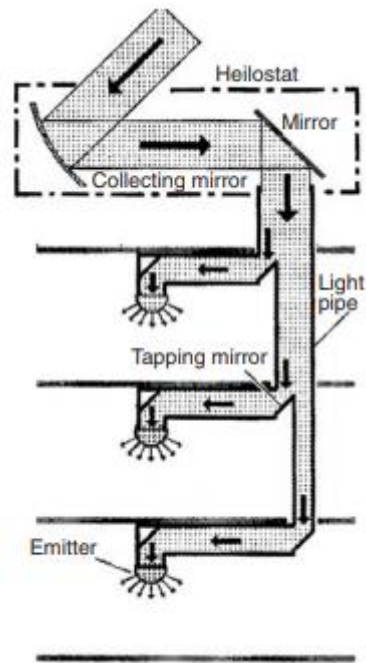
Gambar 2. 11. Prinsip kerja light shelf
Sumber: UN-Habitat, 2014

Dimensi light shelf ditentukan dari kebutuhan penetrasi cahaya ke dalam ruang, kenyamanan ruang dalam, juga sudut jatuh matahari. Refleksi cahaya akan maksimal dengan menggunakan material dengan permukaan licin dan reflektif.

Sementara itu *lightpipe* adalah elemen lainnya yang dapat memaksimalkan pencahayaan alami di dalam ruang. *Lightpipe* bekerja dengan cara memantulkan cahaya matahari yang masuk ke dalam sebuah pipa yang di dalamnya terdapat cermin-cermin yang memantulkan cahaya. Lalu terdapat *diffuser* untuk mengalirkan cahaya ke dalam ruang yang membutuhkan. Dalam penelitian Rosemann (2005), pengaplikasian *lightpipe* berhasil menurunkan konsumsi energi listrik untuk pencahayaan.

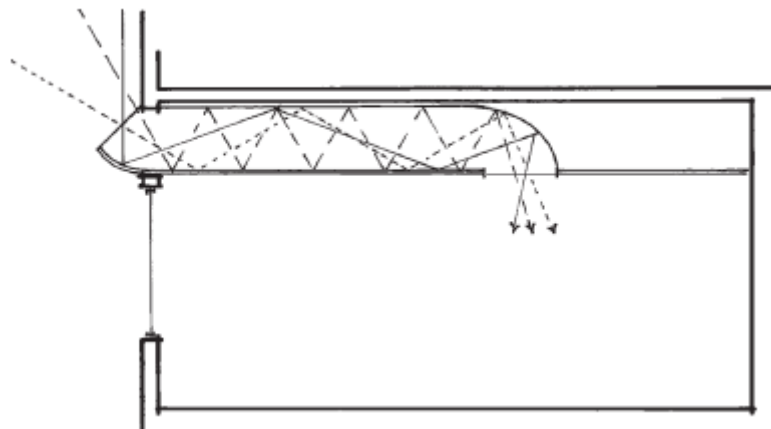


Gambar 2. 12. Prinsip kerja lightpipe
Sumber: Rosemann, 2005



Gambar 2. 13. Kombinasi heliostat dengan light pipe horizontal dan vertikal
Sumber: Szokolay, 2004

Versi lain dari *lightpipe* adalah *anidolic ceiling*. Tipe ini memiliki cermin kolektor pada bagian luar bangunan yang ‘menghadap ke atas’ lalu memantulkan cahaya matahari tersebut ke dalam bangunan melalui *lightpipe* dan disalurkan melalui *diffuser* di bagian dalam ruang.



Gambar 2. 14. Prinsip kerja anidolic ceiling
Sumber: Szokolay, 2004

2.4.2. Konsep Hemat Energi melalui Desain Aktif

Pendekatan aktif dalam konservasi energi menekankan pada peningkatan efisiensi alat-alat elektronik di dalam bangunan seperti lampu, AC, dan peralatan elektronik lainnya dengan yang lebih hemat energi.

Dalam pencahayaan buatan, mengganti lampu pijar biasa dengan lampu berjenis LED merupakan salah satu cara untuk menghemat energi. LED adalah singkatan dari *Light Emitting Diode* yang merupakan semikonduktor yang dapat mengubah energi listrik menjadi energy cahaya ketika media tersebut dialiri listrik. Lampu jenis LED memiliki daya watt yang lebih kecil dari lampu pijar biasa sehingga lebih hemat energi. Selain itu, terang lampu LED tidak menimbulkan panas sehingga tidak menambah suhu dalam ruangan dan menambah beban pendinginan AC.



Gambar 2. 15. Lampu LED.

Sementara dalam hal penghawaan buatan, menggunakan jenis AC yang lebih hemat energi seperti AC Inverter merupakan salah satu cara untuk menekan tingkat konsumsi energy. Rata-rata AC berjenis inverter menggunakan daya 30% lebih kecil dibandingkan dengan AC jenis biasa. Selain itu, AC jenis inverter juga memiliki beberapa keunggulan seperti membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat untuk mencapai suhu ruangan yang diinginkan, dapat menghindari beban yang berlebihan disaat AC dijalankan, serta fluktuasi temperature yang hampir tidak pernah terjadi.



Gambar 2. 16. Contoh AC berjenis inverter.

Dalam studi Marzuki (2011) yang meneliti audit energi pada bangunan Gedung Direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII didapati bahwa mengganti AC konvensional dengan AC yang berjenis inverter yang lebih hemat energi dapat menghemat biaya konsumsi listrik sebesar Rp. 13.083.536 /bulan. Sedangkan pada studi Abdul Malik (2013) yang mengaudit energi Gedung IV Kantor PT PLN (PERSERO) Wilayah Kalimantan Barat, mengganti AC dengan daya PK yang benar-benar sesuai dengan kebutuhan memiliki potensi penghematan energi sebesar 34,83 % atau sebesar Rp. 47.175.280 per tahun.

Sementara untuk rekomendasi mengganti lampu dengan lampu LED tidak terlalu signifikan dampaknya untuk menurunkan IKE karena persentasenya yang kecil (Marzuki, 2011). Namun dalam jangka panjang akan berdampak positif untuk lingkungan. Selain itu, lampu LED juga memancarkan panas yang lebih sedikit dibandingkan lampu biasa sehingga bisa menurunkan beban pendinginan AC di dalam ruangan.

Kaitannya dengan biaya investasi yang harus dikeluarkan dengan mengganti peralatan listrik lama dengan yang lebih hemat energi, Dewi *et al.* (2012) dalam studinya berjudul Audit dan Konservasi Energi pada Rumah Sakit Angkatan Laut dr. Ramelan Surabaya mendapati bahwa dengan mengganti tipe AC dengan yang sesuai dengan beban pendinginan dan juga mengganti tipe lampu dengan lampu LED dapat diperoleh penghematan sebesar Rp 6.199.217,-/bulan. Biaya investasi yang dikeluarkan sebesar Rp 157.114.600 dengan lama waktu pengembalian investasi yaitu 2,1 tahun.

2.5. Bangunan Pendidikan Tinggi yang Sudah Menerapkan Prinsip Hemat Energi

Telah banyak bangunan-bangunan perguruan tinggi yang menerapkan desain bangunan hemat energi baik di luar negeri maupun di Indonesia, di antaranya

2.5.1. Gedung Utama Eindhoven University of Technology

Desain renovasi untuk Gedung Utama Eindhoven University of Technology di Belanda ini akan menjadi gedung universitas paling *sustainable* di dunia. Pada September 2016, desain gedung ini dianugerahi predikat BREEAM Outstanding dari badan sertifikasi *green building* Belanda, BREEAM-NL dengan skor 93,86%. Gedung kampus ini, yang akan dinamai “Atlas”, dirancang oleh tim multidisiplin yang terdiri dari Team V (arsitek), Van Rossum (insinyur konstruksi), Valstar Simonis (insinyur instalasi gedung), dan Peutz (insinyur fisika bangunan dan ahli bangunan berkelanjutan).



Gambar 2. 17. Gedung Utama Eindhoven University of Technology

Sumber: Archdaily. <http://www.archdaily.com/796414/eindhoven-university-of-technology-building-to-become-worlds-most-sustainable-university-building/>. 2016

Gedung ini memiliki penghasil listrik dari tenaga panas bumi, salah satu sistem geotermal terbesar di Eropa. Sistem geotermal ini akan menyuplai kebutuhan energi gedung berdampingan dengan sistem panel surya. Gedung ini juga dilengkapi dengan sistem pencahayaan pintar dengan lampu LED yang bisa diatur melalui aplikasi dari ponsel pintar pengguna, *triple-glazed curtain wall* beserta *sun-blinds interior*, dan sistem “*night flush*” yang akan membuka jendela-jendela pada malam musim panas untuk mendinginkan bangunan dan menjernihkan udara. Jika digabungkan, fitur-fitur ini akan mengurangi emisi gas karbon sebesar 80%.

2.5.2. Education Building, University of Wisconsin-Madison

Education Building di University of Wisconsin-Madison adalah gedung kuliah yang telah mendapatkan sertifikasi LEED Platinum dan memperoleh rating Energy Star. Gedung hasil renovasi dari bangunan sebelumnya ini mendapat total 52 poin dalam penilaian LEED New Building. Beberapa keunggulan dari bangunan seluas 108.000 m² ini di antaranya penggunaan sekitar 70% material-material bangunan lama dan 75% limbah konstruksi untuk kembali digunakan pada bangunan baru, 30% material adalah material lokal, 85% material kayu yang digunakan adalah kayu bersertifikat. Sementara penempatan parkir bawah tanah, atap hijau, penggunaan flow-through planter, penampungan air hujan, dan pengaturan jenis vegetasi juga berhasil mengurangi *run-off* sebesar 25%. Material atap reflektif juga digunakan untuk memantulkan panas alih-alih menyerap panas yang bisa meningkatkan suhu ruang di bawahnya.



Gambar 2. 18. Education Building, University of Wisconsin-Madison.

Sumber: University of Wisconsin-Madison. <http://www.cpd.fpm.wisc.edu/Education-Building.htm>

Pada interior, terdapat sensor okupansi untuk peralatan-peralatan elektronik sehingga hanya akan menyala saat ada orang yang menggunakan ruang. Menggunakan sistem *active chilled beam* yang bisa mengalir udara segar kepada penghuni ruangan. Penggunaan air pun dapat ditekan sampai lebih dari 40% melalui beberapa pendekatan seperti penggunaan keran efisiensi tinggi, sensor okupansi, *low-flow water urinal* dan *double flush toilet*. Secara keseluruhan, gedung Education Building di University of Wisconsin-Madison ini mengkonsumsi energi 45,2% lebih rendah dibandingkan dengan bangunan biasa.

2.5.3. Jerome L. Greene Science Center, Manhattanville Campus, Columbia University

Dirancang oleh Renzo Piano, gedung ini mengedepankan sustainability dan telah mendapat sertifikasi LEED Platinum. Beberapa langkah Greene Science Center dalam mewujudkan bangunan hemat energi di antaranya dengan penggunaan material “*cool-roof*” yang sangat reflektif untuk menghindari efek *urban heat island* dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Pada atapnya juga terdapat solar sensor untuk mengatur shading agar didapatkan pembayangan yang sesuai untuk menghangatkan maupun mendinginkan ruangan. Gedung ini juga menggunakan *double-skin facade* yang terbuat dari alumunium yang kaca yang bertindak sebagai insulasi untuk menjaga suhu di dalam bangunan tetap hangat di musim dingin dan sejuk di musim panas. Penggunaan material lokal, juga material-material daur ulang pun diterapkan pada perabot di dalam gedung.



Gambar 2. 19. Jerome L. Greene Science Center

Sumber: NY Daily News. <http://assets.nydailynews.com>

Selain itu, semua kebutuhan energi dari kampus Manhattanville, termasuk gedung Greene Science Center ini disuplai dari pusat energi yang tersentralisasi di bawah gedung. Pada sentra energi ini, terdapat *refrigeration plant*, *boiler plant* dual bahan bakar (minyak dan gas alam) dengan efisiensi tinggi, energi listrik, serta generator diesel cadangan.

2.5.4. Wisconsin Institute of Discovery, University of Wisconsin-Madison

Bangunan pusat penelitian dan laboratorium dari University of Wisconsin-Madison ini merupakan bangun seluas sekitar 320.000 m² dan telah mendapatkan sertifikasi LEED Gold pada tahun 2011. Beberapa keunggulan Institute of Discovery antara lain penggunaan sumber energi terbarukan dan penggunaan material daur ulang. Menggunakan energi panas bumi sebagai sumber energi alternatifnya melalui 75 titik dengan kedalaman masing-masing sekitar 90 m yang membawa udara hangat di musim dingin dan udara sejuk di musim panas. Penggunaan energi panas bumi ini menyumbang penghematan energi sebesar 10%. Material atap yang reflektif dan berwarna putih yang memiliki indeks radiasi matahari 104 memantulkan panas sehingga mengurangi panas yang terserap. Sebanyak 88% limbah konstruksi didaur ulang untuk digunakan kembali pada gedung.



Gambar 2. 20. Wisconsin Institute of Discovery.

Sumber: University of Wisconsin-Madison. <http://www.cpd.fpm.wisc.edu/Wisconsin-Institutes-for-Discovery.htm>

Dari sisi interior, sekitar 70% ruangan pada gedung ini adalah laboratorium dan kantor laboratorium atau ruang-ruang penunjangnya dan 100% ruang-ruang tersebut mendapatkan penghawaan alami. Pembayang pada bukaan juga mengurangi panas yang masuk pada saat musim panas. Secara total, Wisconsin Institute of Discovery 25% lebih hemat dibanding gedung biasa.

2.5.5. Gedung New Media Tower, Universitas Multimedia Nusantara

Gedung New Media Tower merupakan salah satu gedung perkuliahan milik Universitas Multimedia Nusantara yang terletak di Gading Serpong, Tangerang Selatan, Banten. Gedung dengan luas sekitar 32.000 m² dan terdiri dari 13 lantai ini memiliki bentuk unik yang menyerupai telur, rancangan tangan arsitek Budiman Hendropurnomo. Efisiensi energi pada Gedung NMT ini dicapai dengan prinsip-prinsip desain pasif dari awal perancangannya. Memanfaatkan 40% lahan untuk gedung, sementara 60% sisanya adalah ruang terbuka. Parkir yang berada di basement tidak menggunakan banyak pencahayaan buatan dan exhaust fan, melainkan terdapat cerobong-cerobong besar yang tembus sampai lantai tiga yang memasukan cahaya matahari sampai ke dalam basement, asap kendaraanpun akan naik dengan sendirinya melalui cerobong ini ke ruang terbuka di lantai tiga.



Gambar 2. 21. Gedung New Media Tower, UMN.

Sumber: <http://arsitek.galihgumelar.org/2016/01/kampus-umn-menara-3-dirancang-hemat.html>

Menggunakan *double-skin facade* bermaterial alumunium yang dilubangi dengan perhitungan matang untuk mengontrol cahaya matahari yang masuk ruangan agar tetap melimpah namun tidak silau. Alhasil, dari sekitar 14 ruang kelas di tiap lantainya, hampir tidak pernah menggunakan pencahayaan buatan ketika siang hari. Lubang-lubang pada alumunium ini juga memberikan keleluasaan udara luar untuk masuk dan memberikan penghawaan alami pada ruang sehingga penggunaan AC bisa diminimalisir. Gedung ini juga memiliki sistem pengolahan limbah air toilet dan air hujan untuk digunakan kembali untuk pemeliharaan lansekap. Material dinding pada gedung ini pun tidak menggunakan

dinding batu bata pada umumnya, melainkan menggunakan apa yang disebut sebagai *M System*. Dinding *M-System* terdiri dari *styrofoam* yang dipagari dengan *wire-mesh* pada kedua sisinya untuk kemudian diaci menggunakan semen. Ini memberikan keunggulan dalam peredam kebisingan, juga sebagai insulasi untuk mempertahankan kesejukan di dalam ruang.

Tabel 2. 6. Tabel perbandingan bangunan kampus hemat energi

Bangunan	Iklim	Sertifikasi dan Penghargaan	Prinsip hemat energy		Pencapaian
			Pasif	Aktif	
Gedung Utama Eindhoven University of Technology	Subtropis	BREEAM Outstanding	Pencahayaan alami Penghawaan alami Triple-glazed curtain wall Sun-blinds interior	Sistem geotermal Sistem photovoltaic Lampu LED pintar	Mengurangi emisi gas karbon hingga 80%
Education Building, University of Wisconsin-Madison	Subtropis	LEED Platinum Energy Star	Penggunaan kembali 70% material-material bangunan lama Penggunaan 75% limbah konstruksi bangunan baru 30% material adalah material lokal 85% material kayu yang digunakan adalah kayu bersertifikat Lebih dari 57% luas tapak adalah ruang terbuka Material atap reflektif Atap hijau	Penampungan air hujan	45,2% lebih hemat energi dari bangunan biasa
Jerome L. Greene Science Center, Columbia University	Subtropis	LEED Platinum	Material cool-roof Pencahayaan alami Double-skin façade Material lokal	Solar sensor untuk mengatur <i>shading</i> Pengaturan lampu yang intuitif Sentralisasi energi	
Wisconsin Institute of Discovery, University of Wisconsin-Madison	Subtropis	LEED Gold Innovative Green Building Award 2012 Laboratory of The Year 2012	Pencahayaan alami Penghawaan alami Material atap reflektif Penggunaan kembali 88% limbah konstruksi	Sistem geotermal	25% lebih hemat energi dibanding bangunan biasa
Gedung New Media Tower, Universitas Multimedia Nusantara	Tropis	Juara Pertama Gedung Hemat Energi 2013 Energy Efficient Building kategori Tropical Building 2014	60% ruang terbuka Double-skin façade Pencahayaan alami Penghawaan alami Stack ventilation M system pada dinding	Penggunaan lampu LED Sistem pengolahan dan pemanfaatan limbah air	

2.6. Tinjauan Studi Terdahulu

Sudah terdapat banyak penelitian tentang audit energi bangunan, begitu juga audit energi yang spesifik pada bangunan di lingkungan universitas. Namun mayoritas penelitian-penelitian tersebut dilakukan oleh Jurusan Teknik Elektro sehingga rekomendasi dan potensi penghematan energi yang diberikan hanya sebatas pada alat-alat elektronik yang digunakan dan aspek manajerial saja. Belum ada penelitian audit energi bangunan yang memberikan rekomendasi dalam aspek arsitektural bangunannya.

Tabel 2. 7. Tabel tinjauan studi terdahulu

No.	Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Isi Penelitian
1	Jati Untoro, dkk, 2014	Audit Energi dan Analisis Penghematan Konsumsi Energi pada Sistem Peralatan Listrik di Gedung Pelayanan Unila	Audit energi pada beberapa gedung di Universitas Negeri Lampung yang jalur listriknya mengikuti jalur Gardu K0177. Hasilnya dari tiga gedung yang diteliti yakni Gedung Perpustakaan, Gedung Serba Guna, dan Gedung A Fakultas Pertanian, didapati bahwa penggunaan energi pada ketiga gedung tersebut sudah sangat efisien berdasarkan standar IKE bangunan gedung.
2	Achmad Marzuki dan Rusman, 2011	Audit Energi pada Bangunan Gedung Direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII	Audit energi pada Gedung Direksi PT. Perkebunan Nusantara XIII yang tidak hanya menghitung konsumsi energi, tetapi juga kualitas daya listrik berdasarkan standar IEC dengan berbagai pengukuran. Audit energi menunjukkan peluang tersebar penghematan energi adalah pada aspek penghawaan sehingga direkomendasikan mengganti AC konvensional dengan AC inverter

No.	Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Isi Penelitian
3	Yadi Mulyadi, dkk, 2013	Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Penggunaan Energi di Gedung FMIPA JICA Universitas Pendidikan Indonesia	Audit Energi pada Gedung FMIPA JICA UPI dan menghasilkan rekomendasi pada sisi pencahayaan alami dengan mengganti lampu dengan lampu LED serta pemasangan filter aktif dan pasif pada alat-alat elektronika.
4	Daeng Supriyadi Pasisarha, 2012	Evaluasi IKE Listrik Melalui Audit Awal Energi Listrik di Kampus Polines	Audit energi pada Kampus Politeknik Negeri Semarang diawali dengan pengelompokan pemakaian energy listrik. Hasil audit energy menunjukkan Gedung Kampus Polines masih tergolong sangat efisien.
5	Cornelia Hildegardis, 2013	Audit Performa Energi pada Gedung Laboratorium Komputer dan Kantor Yayasan Pendidikan Tinggi Nusa Nipa	Audit energi pada Gedung Laboratorium Komputer & Kantor Yayasan Pendidikan Tinggi Nusa Nipa menggunakan audit energi berdasarkan SNI dibantu dengan simulasi software Ecotect. Hasilnya menunjukkan IKE belum efisien sehingga diberikan rekomendasi untuk meningkatkan performa energi pada bangunan dan manajemen.

Dengan melihat studi-studi terdahulu tersebut, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut

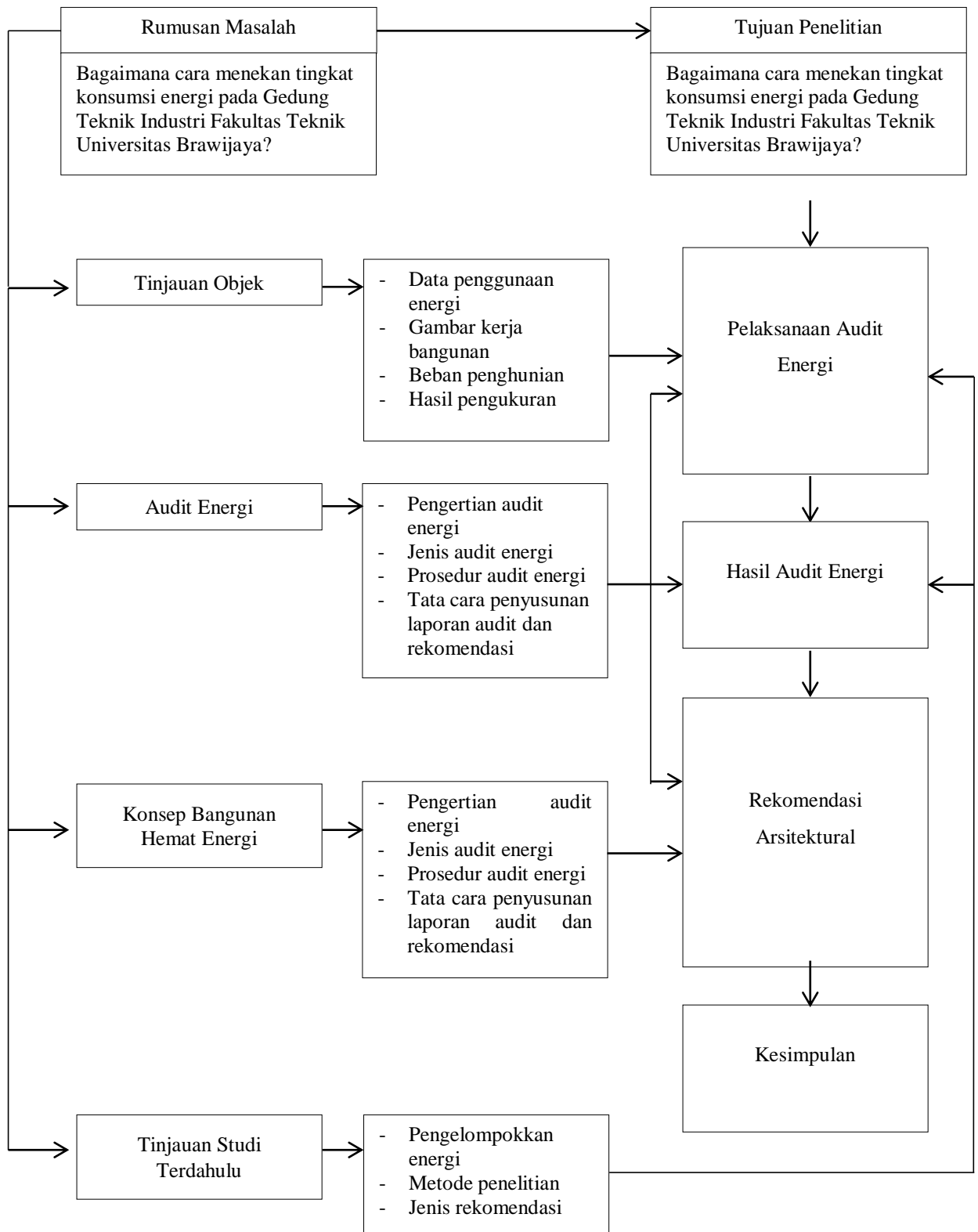
1. Audit energi yang dilakukan masing-masing penelitian terdahulu mengacu pada SNI
2. Standar IKE serta kriterianya dari masing-masing penelitian menggunakan Standar IKE Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia (2004)
3. Semua penelitian membagi konsumsi energi menjadi konsumsi untuk sistem penghawaan ,pencahayaan, dan peralatan elektronik.

4. Ada kalanya seperti pada penelitian Untoro (2014) dan Pasisarha (2012), intensitas konsumsi energi pada bangunan sudah efisien sehingga tidak membutuhkan rekomendasi.
5. Jika Intensitas konsumsi energi pada bangunan belum efisien sesuai standar, maka diberikan rekomendasi yang sesuai dengan analisis terhadap potensi konservasi energi (PKE). Contohnya pada penelitian Marzuki (2011), penggunaan energi terbesar pada sistem penghawaan, maka rekomendasi yang diberikan dari sistem penghawaan. Lain halnya pada penelitian Mulyadi (2013) yang memberikan rekomendasi pada sistem pencahayaan alami dan peralatan elektronik.

Sementara itu, didapatkan beberapa keterkaitan antara studi-studi terdahulu dengan penelitian ini yaitu

1. Sama seperti kelima studi terdahulu, pada penelitian ini juga audit energi dilakukan berdasarkan SNI.
2. Seperti halnya kelima studi terdahulu tersebut, standar IKE dari Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia (2004) digunakan pada penelitian ini, namun ditambah juga dengan standar IKE dari sumber-sumber lainnya seperti Peraturan Gubernur DKI Jakarta No.38 (2012), ASEAN-USAID (1992), CBECS (2012), dan ASHRAE Standard 100 (2015) sebagai perbandingan.
3. Pada penelitian ini, konsumsi energi juga dibagi menjadi konsumsi untuk sistem penghawaan, pencahayaan, dan peralatan elektronik seperti pada penelitian-penelitian terdahulu.
4. Seperti pada penelitian Hildegardis (2013), penelitian ini dilengkapi juga dengan simulasi menggunakan software Ecotect Analysis.
5. Pada penelitian ini, rekomendasi yang diberikan adalah berupa rekomendasi-rekomendasi arsitektural seperti pada penelitian Hildegardis (2013).
6. Namun tidak seperti pada penelitian Hildegardis (2013), Marzuki (2011), dan Mulyadi (2013), penelitian ini membatasi untuk hanya memberikan rekomendasi dari segi arsitektural saja, tidak termasuk rekomendasi yang bersifat manajerial.

2.7. Kerangka Teori



Gambar 2. 22. Kerangka Teori

